

H14/A05 次世代津波計測ネットワークに関する研究 (共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	9
ページ	150-152
発行年	2003-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/30354

課題番号 H14/A05

次世代津波計測ネットワークに関する研究

[1] 組織

代表者：伊藤弘昌
 （東北大学電気通信研究所）
 責任者：伊藤弘昌
 （東北大学電気通信研究所）
 分担者：伊藤弘昌
 （東北大学電気通信研究所）
 今村文彦
 （東北大学大学院工学研究科付属災害
 制御研究センター）
 日野亮太
 （東北大学大学院理学研究科地震・噴
 火予知研究観測センター）
 松澤 暢
 （東京大学地震研究所地震予知研究推
 進センター）
 新妻弘明
 （東北大学大学院工学研究科）
 高嶋昭一
 （東北大学大学院工学研究科）
 新川秀一
 （東北大学未来科学技術共同センター）
 長尾康之
 （株式会社KDDI研究所）
 吉川 隆
 （沖電気工業株）
 土橋孝治
 （沖電気工業株）
 新藤雄吾
 （沖電気工業株）
 加藤 毅
 （株式会社光電製作所）
 片倉景義
 （株式会社光電製作所）
 村山 仁
 （株式会社光電製作所）
 伊藤秀文
 （株式会社光電製作所）
 原 武文
 （株式会社光電製作所）

研究費：校費 38万6千円
 旅費 30万3千円

[2] 研究経過

津波による人的被害を軽減するためには、津波警報などの迅速な情報提供が不可欠である。現行の津波警報システムは地震データに依存しており、津波地震（地震の揺れに比べて大きな津波を発生させる地震）や、海底地滑り・海底噴火などの地震以外の原因による津波の場合には効果が薄い。それに対して海底津波計は津波そのものを検知するため、津波をいち早く的確に計測することが可能であり、その期待は非常に高い。しかし、現在設置されている海底津波計は全国でわずか6ヶ所であり、わが国の沿岸域を十分カバーしているとは言えず、情報の信頼性においても問題がある。またシステム面からも、現行の水晶式海底津波計は、海底センサへの給電が必要なため、(1)延長距離、(2)コスト、(3)長期信頼性の面で問題がある。

これまで、上記の問題点をクリアでき、かつ、津波源に関する定量的なデータが提供できる新たなレーザ式津波計測・データ転送システムを開発する目的で研究を文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2)にて進めてきた。これは周波数シフト帰還型レーザ（FSFレーザ）を光源とした光学的距離計測を応用したもので、水圧センサはファイバ型干渉計で構成されパッシブな計測を可能としたものである。物理長約880mの分散シフトファイバをAl合金製円筒型ボビンに巻きつけ、エポキシ系接着剤で固定した水圧センサを用いた基礎実験において 10^{-8} のオーダーで光学長歪を計測した。この値は津波の波高値換算にして約46mmであり、津波警報システムに十分な計測精度が得られることが明らかになった。さらに海底津波計には、パッシブな水温センサや地震センサを追加することできるため、海底における環境モニタリング、地震と津波の総合的観測への道が開けた。

そこで本共同プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえながら、本年度は遠隔リモート計測に関する諸問題について研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を記す。

主として、東北大学電気通信研究所グループは水圧センサを、沖電気グループは地震センサを、東北大学大学院工学研究科グループは水温センサ

をそれぞれ担当した。東北大学の今村，日野，東京大学の松澤には地震・津波観測面で，東北大学の新川にはシステム化の面で，アドバイザーを担当した。平成15年3月12日（水）には東北大学電気通信研究所にて研究会を開催し，各グループの研究成果報告と討論を行った。

[3] 研究成果

(3-1) 研究成果

水圧センサグループではこれまでに，FSFファイバレーザを用いて波高値換算で46mmの計測精度が得られているが，光源からセンサまでの伝送距離はたかだか物理長にして50m程度の光ファイバで構成されていた。津波計測ネットワークでは伝送路ファイバは100～数1,000kmを要求するため，光ファイバ伝送中の信号減衰を光増幅器で補償する必要がある。これは光通信システムの光中継と信号対雑音比(SNR)の問題と同等である。そこで本プロジェクトでは，光源自体のSNRを確認し，光増幅器による中継伝送実験を行なった。

実験には今回新たに製作した温度安定化FSFファイバレーザを用いた（図1，2）。これはレーザ共振器全体をアルミベース上に実装し，ペルチェ素子を用いて一定温度にPID制御したものである。光源のSNRは，レーザ発振光強度と自然放出光強度の比とし，図3に示すように42.8dBであった。

光増幅中継伝送実験の構成を図4に示す。伝送路は一般の通信網と同等に物理長で50kmの分散シフトファイバを用いた。伝送ロス是一片12.4dBであった。光増幅器は光中継局を想定してセンサと同位置に一基，雑音指数約6dBの前方励起エルビウム添加ファイバ増幅器を用いた。これより往路分の伝送ロスを補償し，復路は無補償とした。また，光源および光増幅器の信号帯域外の自然放出光を抑圧するため，その出力に通過帯域幅1nmの波長同調フィルタTF1，TF2を挿入した。

まず，光増幅器通過後のSNRは実測で36.1dBであった。これより，FSFレーザ光の光増幅も一般の光信号と同等に扱うことが可能であることがわかった。次に，フォトディテクタで水圧センサの2つのアームからの反射光を自己遅延ヘテロダイン検波し，そのスペクトルを観測した（図5）。ここで，水圧センサ直後に検波したものをSingle path，復路分の伝送ロスを受けたものをDouble pathとした。Single pathでのSNRは50dB以上であった。Double pathでのSNRは約25dBであった。これは復路の伝播ロスによって光電力は0.1mWに低下し，雑音電力はフォトディテクタのショット雑音や回路雑音が支配的になったためと考えられる。これ

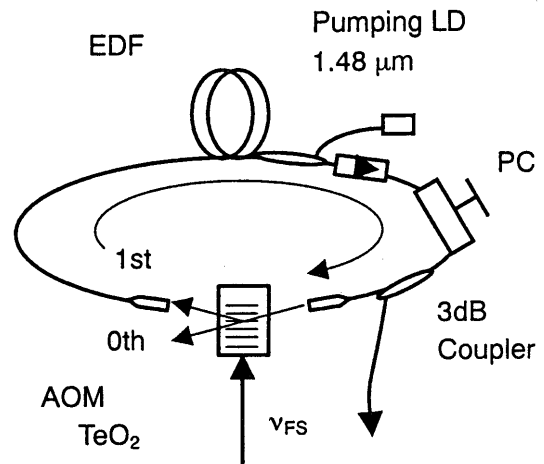


図1 FFSFファイバレーザの構成

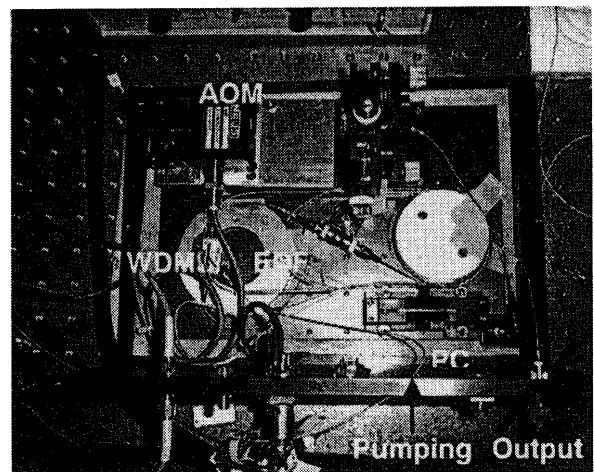


図2 温度安定化FSFファイバレーザ

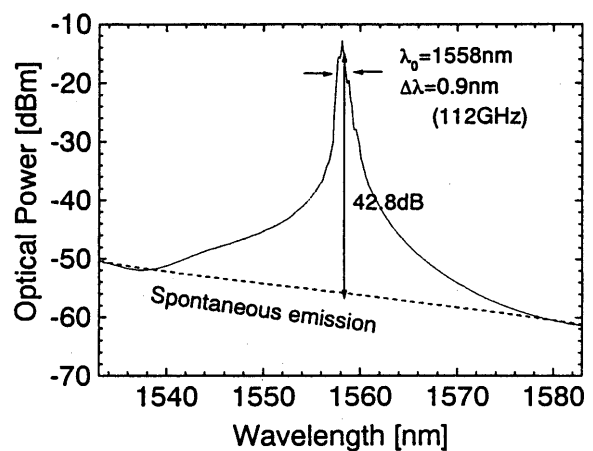


図3 FFSFファイバレーザの発振スペクトル

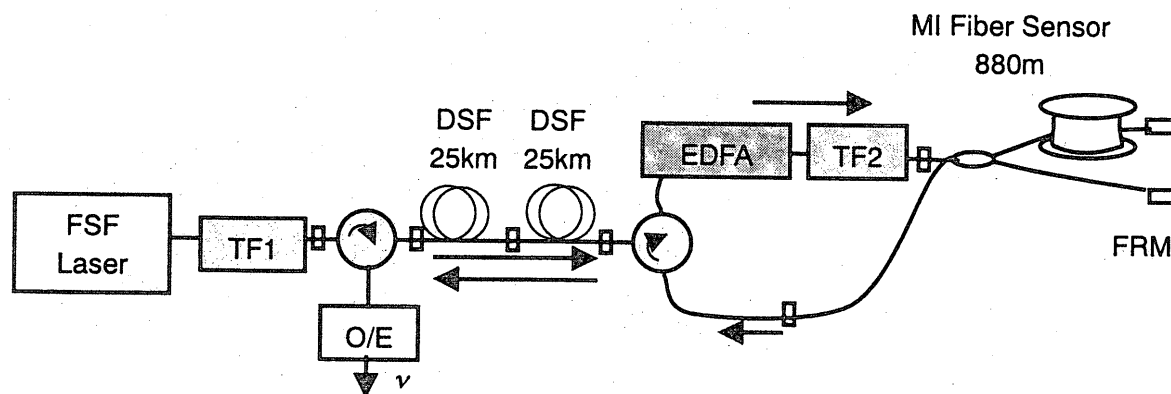


図4 仮想中継局伝送実験系

については、フォトディテクタ前段にさらに光増幅器をプリアンプとして挿入することで改善できることが知られている。

以上の結果より、現在のFSFファイバレーザに、雑音指数5dBのエリウム添加ファイバ光増幅器を組み合わせることにより、8段程度の光中継が可能であることを明らかにした。これより、200km沖合をターゲットとした津波観測ネットワークシステムの実現可能であることが判った。さらなる長尺の津波観測ネットワークのシステム化においては、光源のSNR改善、光増幅器の雑音指数の検討が必要である。

水温センサグループでは0.01℃の計測精度を目標としている。これまでにファイバブラッググレーティングの反射波長を波長分解能10pmの光波長計で計測し、1℃の計測精度を得ている。本プロジェクトでは位相シフト干渉計によって波長分解能を0.1pmに改善し、目標の分解能が得られることが判った。干渉計の温度ドリフト補償については今後の検討が必要である。

地震センサグループでは、光中継用ラマン増幅器の研究を行なった。ラマンゲインは1450nm・600mW励起において最大で25km伝送時に24dBが得られた。今後はノイズ特性の検討が必要である。

(3-2) 波及効果と発展性

わが国沿岸ではたびたび津波によって人命が奪われ、甚大な物理的被害を被っている。津波による被害軽減には、確実な情報をいち早く提供することが不可欠であり、そのシステムが待ち望まれている。

FSFレーザを光源としたレーザ式水圧計は計測精度、延長距離、リアルタイム性、メンテナンスの面よりリアルタイム多点計測が可能であり、本研

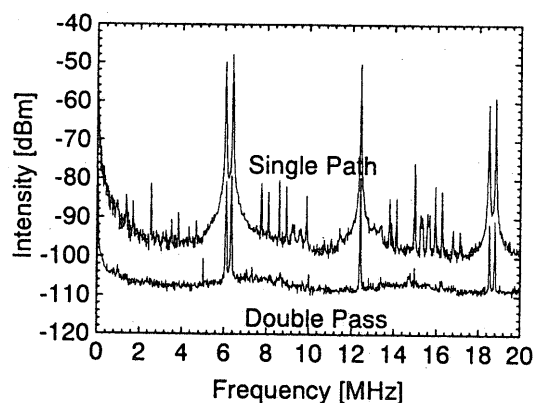


図5 伝送後のビート信号波形

究成果にもとづいた広範囲の計測ネットワークが実現されれば、津波の規模・到達予定時刻の把握、津波警報の発令が正確になる。これによって津波による被害を最小限にとどめることが可能になるものと期待される。

さらに、本プロジェクトで実現された、狭い占有波長帯域幅によるFSFレーザ計測は波長多重通信や他方式のセンシングシステムとの整合性も高く、水圧センサ以外の用途でも容易に実現化が期待できる。

[4] 成果資料

- (1) T. Hara, F. Imamura, H. Ito, "Optical Hydraulic Pressure Sensor using Frequency Shifted-feedback Laser for Ocean-Bottom- Tsunami Sensing," The 3rd International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, 25-27 June 2003, (Under contribution).